

SISTEM KENDALI *HYBRID PID* - LOGIKA *FUZZY* PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR *DC*

H. Samsul Bachri M.

Teknik Elektro, Program Studi Teknik, Universitas Jember, Jember 68111, Indonesia

Abstrak

Suatu sistem kendali yang baik harus mempunyai ketahanan terhadap *disturbance* dan mempunyai respon yang cepat dan akurat. Sering terjadi permasalahan dalam sistem kendali *Proportional Integral Derivative* (PID) bila dibuat sangat sensitif, maka respon sistem terhadap *disturbance* menghasilkan *overshot/undershot* yang besar sehingga kemungkinan dapat terjadi osilasi semakin tinggi. Bila dibuat kurang sensitif memang akan menghasilkan *overshot/undershot* kecil, tetapi akibatnya akan memperpanjang *recovery time*. Untuk mengatasi hal ini, diterapkan sistem kendali hybrid yaitu sistem kendali PID yang akan dihybridkan dengan sistem kendali logika *fuzzy*. Dalam sistem ini kendali utama adalah kendali PID sedangkan kendali logika *fuzzy* bekerja membantu untuk meminimalkan *overshot/undershot* yang terjadi dan juga meminimalkan *recovery time* dari respon sistem. Sistem kendali logika *fuzzy* yang didesain mempunyai 2 input yaitu *error* dan *delta error* dan output kecepatan motor. Besar output dari sistem kendali logika *fuzzy* hanya 50 % dari kendali PID. Hal ini dilakukan dengan membatasi semesta pembicaraan dari himpunan *fuzzy* untuk output. Dari desain sistem ini diharapkan sistem kendali secara keseluruhan yang merupakan hybrid antara PID dengan Kendali Logika *Fuzzy* dapat menghasilkan respon sistem yang lebih baik.

Abstract

PID Fuzzy Logic Controller System for DC Motor Speed Control. A good controller system must have resilience to disturbance and must be able to response quickly and accurately. Problem usually appears when PID controller system was built sensitively hence the system's respon to the disturbance will yield big overshoot/undershot then the possibility of oscillation to be happened is excelsior. When the controller system was built insensitively, the overshoot/undershot will be small but the recovery time will be longer. Hybrid controller system could overcome those problems by combining PID control system with fuzzy logic. The main control of this system is PID controller while the fuzzy logic acts to reduce an overshoot/undershot and a recovery time. The fuzzy logic controller is designed with two input error and delta error and one output of the motor speed. The output of fuzzy logic controller should be only half of the PID controller for limiting entirely fuzzy output. This hybrid system design has a better respon time controller system than PID controller without fuzzy logic.

Keywords: hybrid PID - fuzzy, disturbance

1. Pendahuluan

Dalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol derivative. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan risetime yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*, dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan untuk memperkecil *derror* atau meredam *overshot/undershot* [1-2]. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan output dengan risetime

yang tinggi dan error yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID, dan pada makalah ini sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali PID digital.

Di lain pihak juga berkembang suatu teknologi dimana kita tidak lagi memakai cara konvensional untuk mendapatkan suatu hasil yang kita inginkan dengan memakai persamaan matematika. Tetapi kita menerapkan suatu sistem kemampuan manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan. Jika – maka (*If – Then Rules*), sehingga proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara

linguistik, sistem ini disebut dengan sistem kendali logika *fuzzy*, yang mana sistem kendali logika *fuzzy* ini tidak memiliki ketergantungan pada variabel-variabel proses kendali [2]. Sistem ini dikembangkan dalam bidang teknik kontrol, terutama untuk sistem nonlinier dan dinamis. Pada industri-industri yang membutuhkan suatu sistem kontrol dengan kecepatan tinggi dan keakuratan data output, maka pemakaian aksi kontrol PID mungkin masih dianggap kurang memuaskan. Sebab jika menggunakan aksi kendali PID didapatkan jika suatu kontroler di set sangat sensitif, maka *overshoot/undershoot* yang dihasilkan akan semakin peka, sehingga osilasi yang ditimbulkan akan lebih tinggi, sedangkan bila kontroler di set kurang peka maka terjadinya *overshoot/undershoot* dapat diperkecil, tetapi waktu yang dibutuhkan akan semakin lama, dan ini akan menjadikan suatu masalah dalam suatu proses industri.

Karakteristik umum yang digunakan dalam pengontrolan suatu sistem antara lain meliputi stabilitas, akurasi, kecepatan respon dan sensitivitas [3]. Dalam Aksi kendali proporsional, output dari sistem kontrol selalu sebanding dengan inputnya. Sinyal output merupakan penguatan dari sinyal kesalahan dengan faktor tertentu, faktor penguatan ini merupakan konstanta proporsional dari sistem, yang dinyatakan dengan K_p , dimana K_p ini mempunyai respon yang tinggi/cepat. Dalam aksi kendali integral, output dari kontroler ini selalu berubah selama terjadi penyimpangan, dan kecepatan perubahan output tersebut sebanding dengan penyimpangannya, konstantanya dinyatakan dengan K_i , dimana K_i ini mempunyai sensitivitas yang tinggi, yaitu dengan cara mereduksi *error* yang dihasilkan dari sinyal *feedback*. Makin besar nilai K_i maka sensitivitasnya akan semakin tinggi, tetapi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan lebih cepat, demikian pula sebaliknya. Sedangkan aksi kendali derivative (turunan) bekerja berdasarkan laju perubahan simpangan, sehingga jenis kontroler ini selalu digunakan bersama-sama dengan kontroler proporsional dan integral, konstantanya dinyatakan dengan K_d , dimana K_d ini mempengaruhi kestabilan dari sistem, karena aksi kendali ini dapat mereduksi *error*.

Dengan adanya penggabungan aksi kendali PID ini maka diharapkan akan mendapat suatu respon yang mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi.

PID Digital pada dasarnya merupakan suatu proses dari suatu program yang dijalankan/diexecute dengan menggunakan komputer, dimana kita memasukkan nilai *Setting Point* (SP) dan *Present Value* (PV), yang kemudian data yang didapatkan diproses sehingga *error* yang didapatkan sama dengan 0, atau nilai *Setting Point* = *Present Value* [4].

Untuk dapat mengimplementasikan sistem kendali PID [5] pada komputer, PID harus diubah ke dalam persamaan diskrit:

$$V_0 = K_p + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

kemudian diturunkan

$$\frac{dV_0}{dt} = K_p \frac{de}{dt} + K_i \frac{d}{dt} \left(\int e dt \right) + K_d \frac{d^2 e}{dt^2} \quad (2)$$

$$\frac{dV_0}{dt} = K_p \frac{de}{dt} + K_i e + K_d \frac{d}{dt} \left(\frac{de}{dt} \right) \quad (3)$$

dikali dengan T_s , sehingga

$$\frac{\Delta V_0}{T_s} = K_p \frac{\Delta e}{T_s} + K_i e + K_d \frac{\Delta}{T_s} \left(\frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (4)$$

$$\Delta V_0 = K_p \Delta e + K_i e T_s + K_d \Delta \left(\frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (5)$$

Harga ΔV_0 merupakan harga perubahan output yang didapat dari output sekarang dikurangi dengan output sebelumnya.

$$\Delta V_0 = V_{on} - V_{on-1}, \text{ begitu juga pada perubahan error} \quad (6)$$

$$\Delta e = e_n - e_{n-1} \quad (7)$$

Sehingga persamaannya menjadi :

$$V_0 - V_{on-1} = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T_s} (\Delta e_n - \Delta e_{n-1}) \quad (8)$$

Pada kondisi akhir, perubahan Δ pada error sebelumnya dapat didistribusikan menjadi :

$$\Delta e_n = e_n - e_{n-1} \quad (9)$$

$$\Delta e_{n-1} = e_{n-1} - e_{n-2} \quad (10)$$

Kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan, menjadi:

$$V_0 = V_{on-1} + K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T_s} [(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})] \quad (11)$$

Hasil akhir dari persamaan PID yaitu :

$$V_0 = V_{on-1} + K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T_s} [(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})] \quad (12)$$

Dimana :

V_0	= Output
V_{on-1}	= Output sebelumnya
K_p	= Konstanta Proporsional
K_i	= Konstanta Integral
K_d	= Konstanta derivative
e_n	= Error sekarang

e_{n-1} = Error 1 kali sebelumnya
 e_{n-2} = Error 2 kali sebelumnya
 T_s = Time Sampling

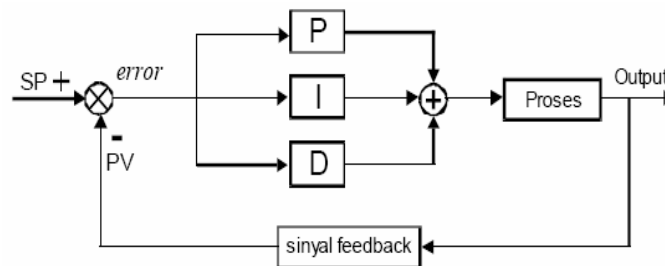
$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} \quad (13)$$

$$K_i = \frac{1}{T_i} = 2L \quad (14)$$

$$K_d = T_d = \frac{L}{2} \quad (15)$$

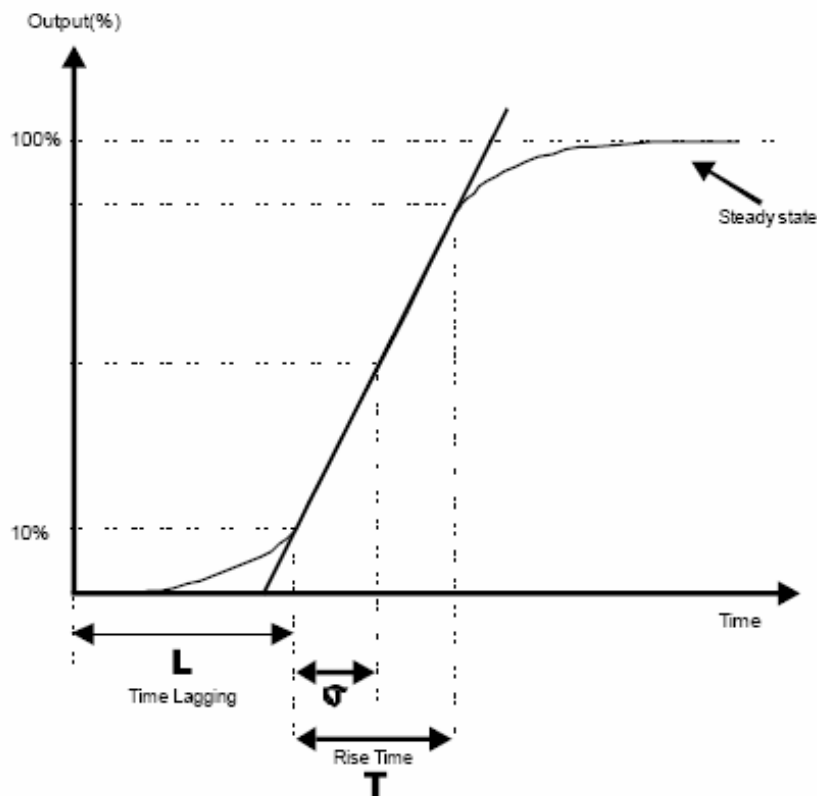
Untuk mendapatkan harga-harga K_p , $T_i (=1/K_i)$, $T_d (=K_d)$ ditentukan dengan kurva proses reaksi (Gambar 2), dimana sistem dijalankan secara *open loop* [6].

Perhitungan *auto tuning* PID menurut *Ziegler Nichols* dapat dicari dengan persamaan:



Gambar 1. Kendali PID [5]

L = Time lagging



T = Time konstan

Gambar 2. Kurva Proses Respon Motor

Sistem hybrid kendali PID - logika *fuzzy* ini dikembangkan oleh *OMRON's Industrial Temperature Regulator*. Kemudian disini akan dicoba untuk mengimplementasikannya pada sistem untuk mengendalikan kecepatan motor dengan sistem pengereman sebagai *disturbance*-nya [7].

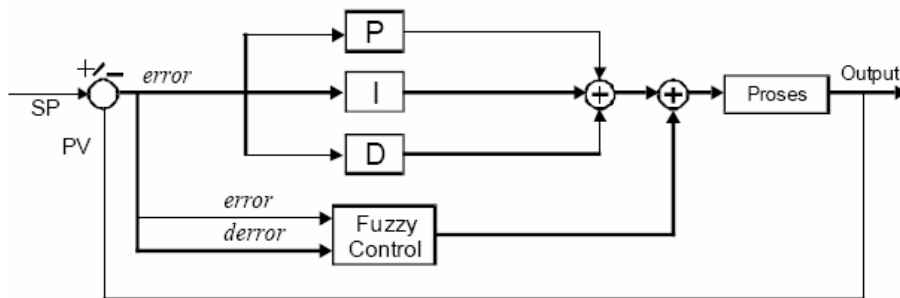
Sistem utama adalah kendali PID, sedangkan logika *fuzzy* disini berfungsi untuk memperbaiki respon dan *recovery time* terhadap *disturbance* seperti terlihat pada Gambar 3.

Output dari *fuzzy* kontrol unit yang dihasilkan mempunyai beban lebih kecil dari kendali PID, artinya range dari output membership function telah ditetapkan

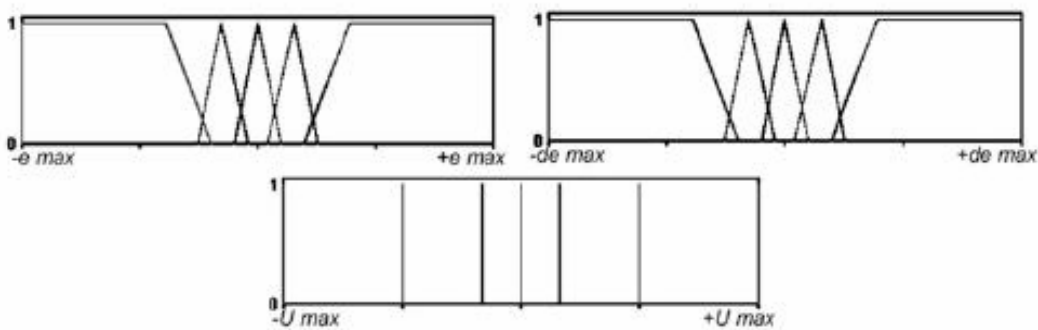
yaitu $+U_{max}$ dan $-U_{max}$, dimana harga U_{max} lebih kecil dari harga kendali PID, pada paper ini dicoba untuk memberikan beban sebesar 50% dari kendali PID.

Sehingga apabila range dari PID adalah 0-255, maka beban output pada logika *fuzzy* yaitu 0-128. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada Gambar 4.

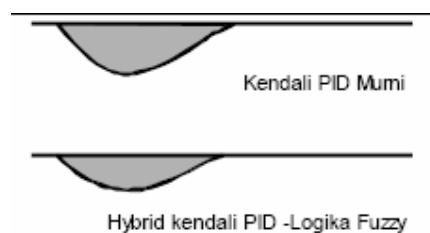
Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka kita dapat *men-tuning* parameter *fuzzy* control tersebut dengan cara *try and error* yaitu mengatur (*adjust*) membership function (*range e-max* dan *de-max*) serta *rules-rules* yang ada [8] seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Hybrid Kendali PID- Logika Fuzzy



Gambar 4. Membership Function Crisp Input dan Output



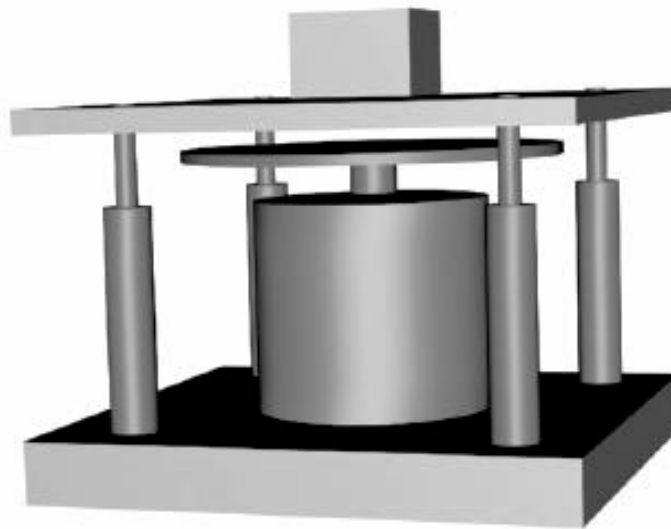
Gambar 5. Respon Hybrid Kendali PID – Logika Fuzzy

2. Metode Penelitian

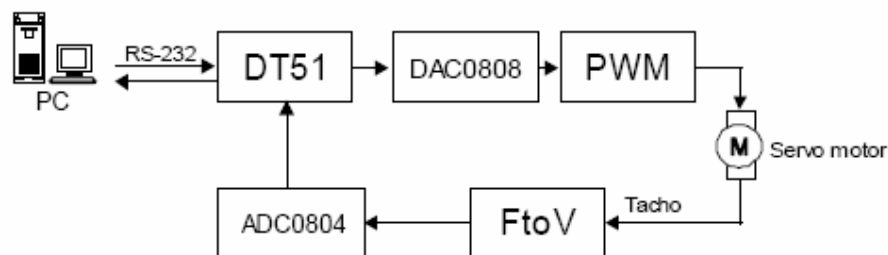
Plant dari sistem pengereman motor ini menggunakan servo motor DC yang juga dapat berfungsi sebagai generator, memiliki tegangan kerja 24V dan kecepatan maksimal 3000 rpm seperti terlihat pada Gambar 6. Bagian dasarnya berfungsi sebagai tumpuan motor yang terbuat dari kayu dengan ukuran 14x14 cm, dan tinggi konstruksi 17 cm. Kemudian sebagai penyangga dipakai 4 buah besi yang dipasang pada masing-masing sudut konstruksi, yang kemudian diberi pegas sebagai penyangga dari papan yang berfungsi sebagai media untuk pemberian *disturbance*. Pada bagian rotor diberi suatu piringan yang berfungsi sebagai media pengereman [9].

Perencanaan perangkat keras meliputi rangkaian minimum sistem DT51 buatan IE (*Innovative Electronics*), yang dilengkapi dengan mikrokontroler AT89C51, EEPROM AT28C64 sebesar 8 Kbyte, PPI 8255, serta sebuah serial port RS-232, kemudian rangkaian DAC0808, rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*), rangkaian FtoV (*Frekwensi to Voltage*), dan rangkaian ADC0804 seperti terlihat pada Gambar 7.

Dalam perencanaan kendali Hybrid PID - logika *fuzzy*, sistem utama tetap menggunakan kendali PID, sedangkan logika *fuzzy* disini berfungsi untuk memperbaiki respon, dan mempercepat *recovery time* terhadap *disturbance* [10].



Gambar 6. Plant Sistem Pengaturan Kecepatan Motor



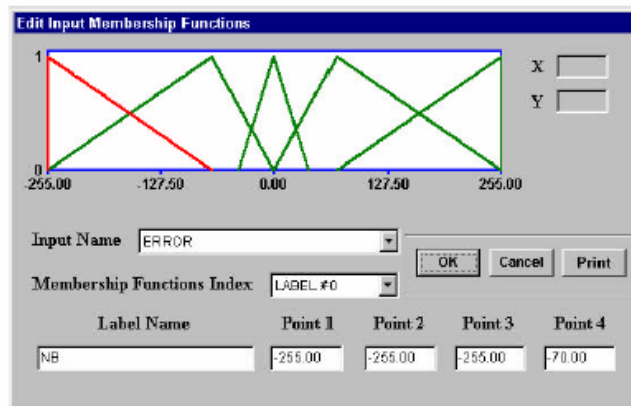
Gambar 7. Blok Perencanaan Perangkat Keras

Sistem kendali ini merupakan gabungan/hasil penjumlahan dari output yang dihasilkan oleh kendali PID dengan kendali logika fuzzy. Perbedaan yang ada disini yaitu terletak pada rule logika fuzzy dan bentuk *membership function*-nya, dimana *rule* ini tidak seperti pada *rule-rule* fuzzy pada umumnya.

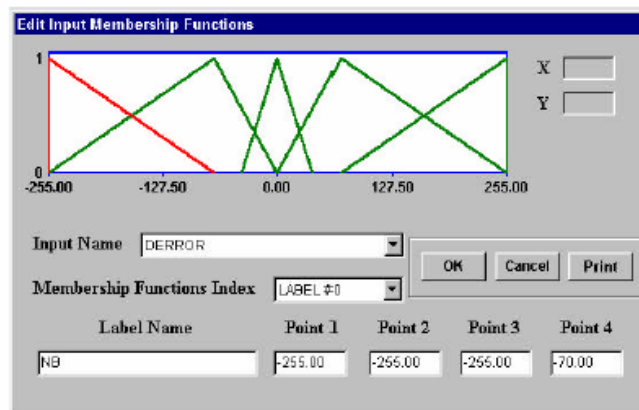
Bentuk *membership function* pada sistem hybrid lebih lebar dari pada bentuk *membership function* pada logika

fuzzy dengan tujuan supaya dapat meredam *disturbance* dengan cepat. Sedangkan *membership* outputnya sama seperti *membership function* pada logika fuzzy (Gambar 8-10).

Adapun diagram alir untuk sistem kendali Hybrid adalah sebagaimana Gambar 11.



Gambar 8. Membership Function Error untuk Hybrid



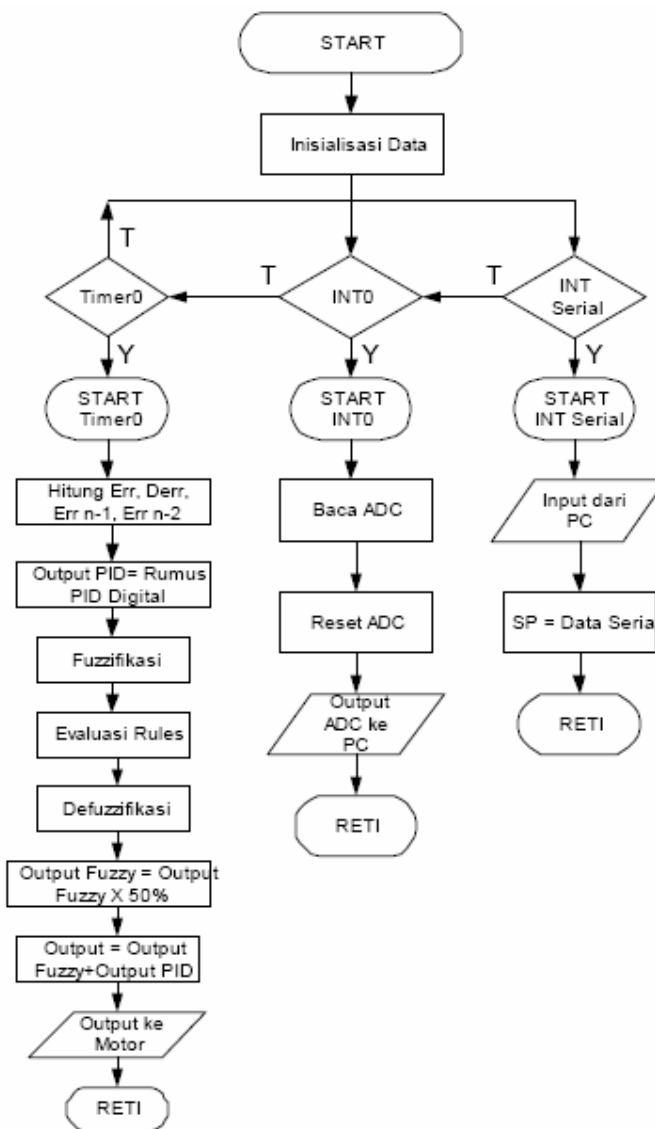
Gambar 9. Membership Function Derror untuk Hybrid

Error

	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NM	NB	NM
NS	NB	NB	NS	Z	NM
Z	NS	Z	Z	Z	PS
PS	PM	Z	PS	PB	PB
PB	PB	PB	PM	PB	PB

Gambar 10. Rules untuk kendali Hybrid PID – Logika Fuzzy

de Error



Gambar 11. Diagram Alir Kendali Hybrid

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian sistem dengan variasi *setting point* dilakukan dengan memberikan suatu nilai *setting point* pada motor dengan beban kosong.

Dari hasil pengujian dengan memberikan variasi *setting point*, antara sistem kendali PID dengan sistem kendali hybrid, menunjukkan hasil yang tidak terlalu berbeda, hal ini dikarenakan sistem kendali logika *fuzzy* yang dicangkokkan pada sistem kendali PID tidak memberikan pengaruh yang besar pada keadaan tanpa *disturbance*/beban kosong, sehingga sistem yang berperan penting adalah sistem kendali PID [11].

Pada Variasi *Setting point* ini di berikan nilai 200, kemudian diturunkan menjadi 150, dan diturunkan lagi menjadi 100.

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan hasil yang tidak terlalu berbeda, hal ini dikarenakan sistem kendali logika *fuzzy* yang dicangkokkan pada sistem kendali PID tidak memberikan pengaruh yang besar pada keadaan tanpa *disturbance*/beban kosong, sehingga sistem yang berperan penting adalah sistem kendali PID [11].

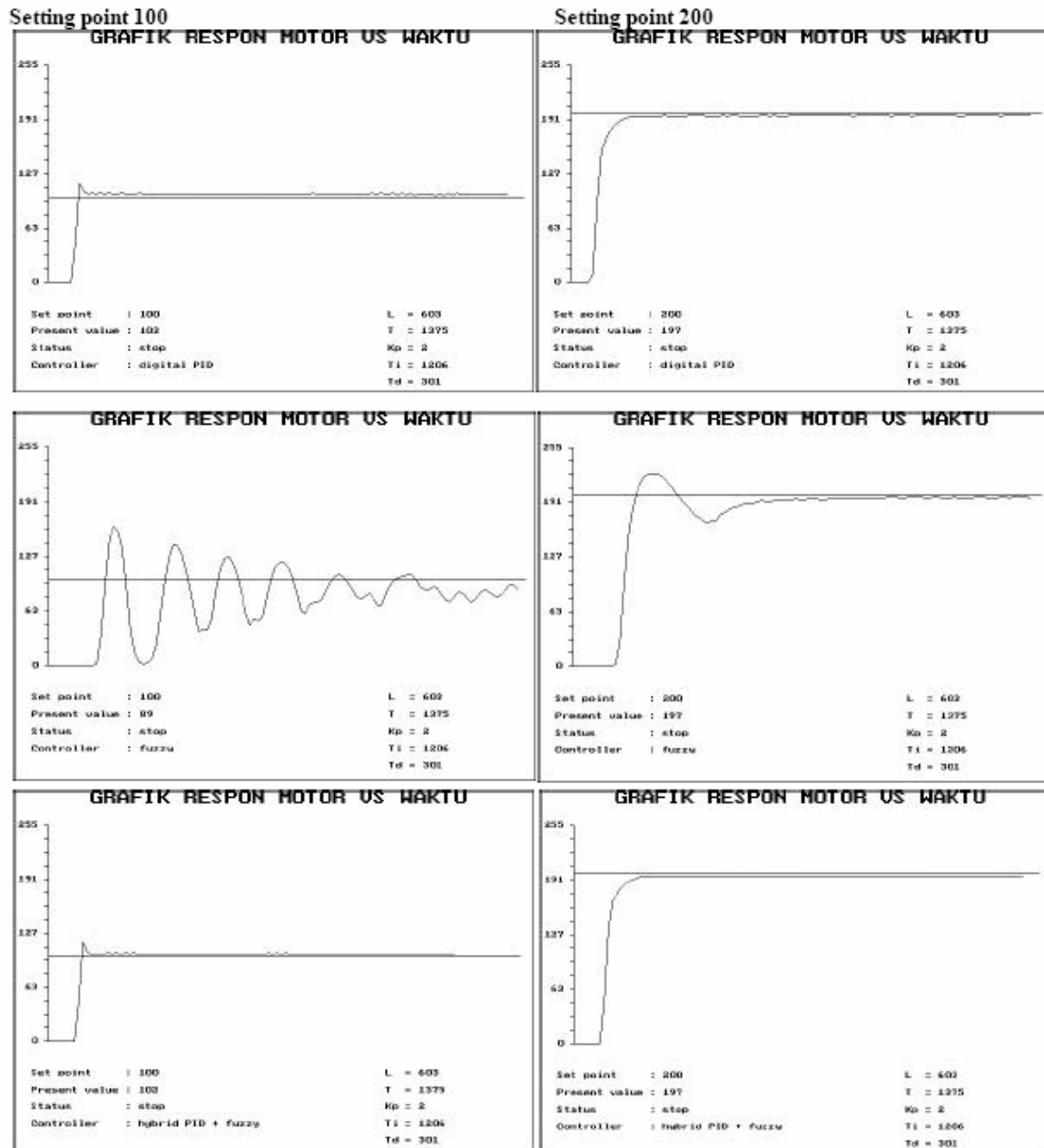
Pengujian sistem dengan variasi beban dilakukan dengan cara memberikan beban terlebih dahulu pada

motor dalam kondisi diam, kemudian motor dijalankan sesuai dengan *setting point* yang telah diatur.

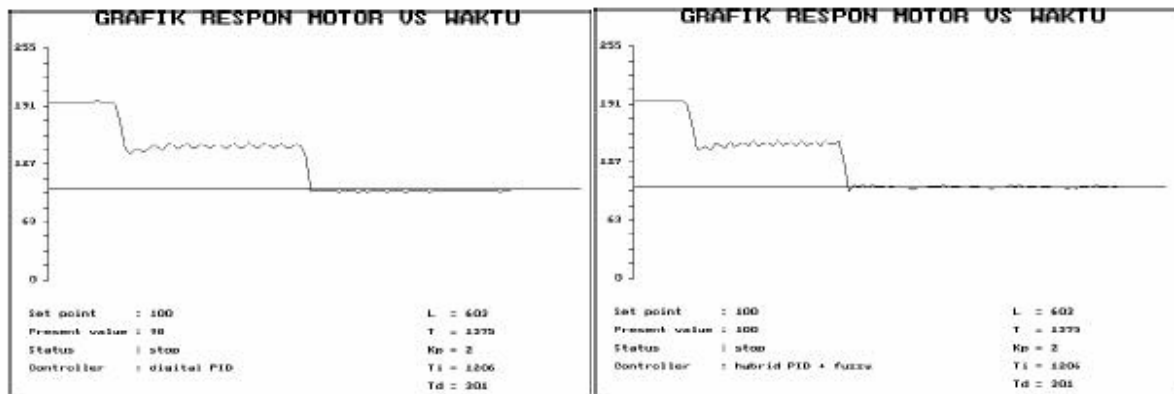
Dari hasil pengujian dengan memberikan variasi beban, sistem kendali hybrid mempunyai daya tahan yang lebih besar terhadap pemberian beban, ini dapat dilihat dengan pemberian beban 600 gram pada motor [11]. Pengujian sistem dengan *disturbance* dilakukan untuk mengetahui respon dari sistem apabila diberikan suatu

disturbance/gangguan, sehingga dapat dilihat *recovery time* yang dihasilkan oleh sistem, *setting point* ditetapkan sebesar 150 (Gambar 14-16).

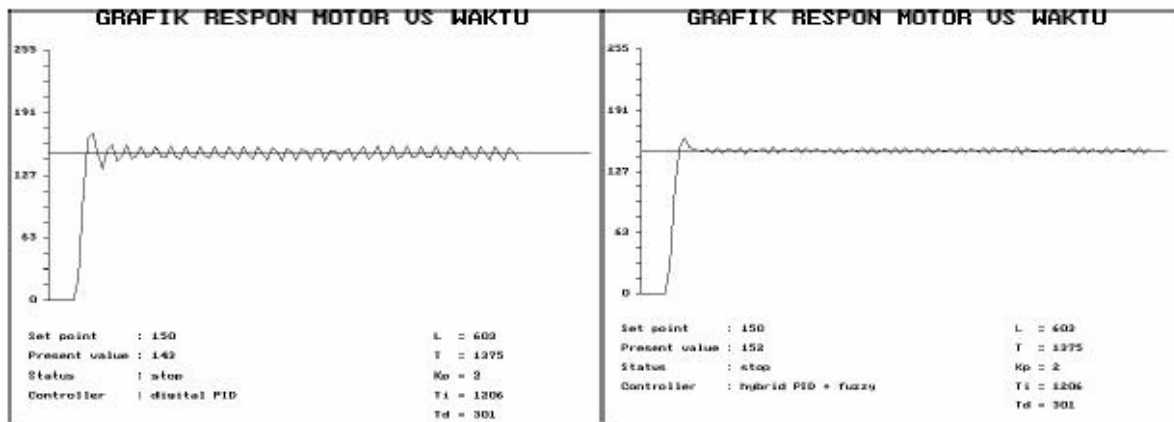
Dari hasil pengujian sistem dengan pemberian *disturbance*, sistem kendali hybrid mampu memberikan respon dan *recovery time* yang lebih baik, dan pada pemberian *disturbance* yang besar, sistem hybrid mampu untuk meredam terjadinya *undershoot* [11].



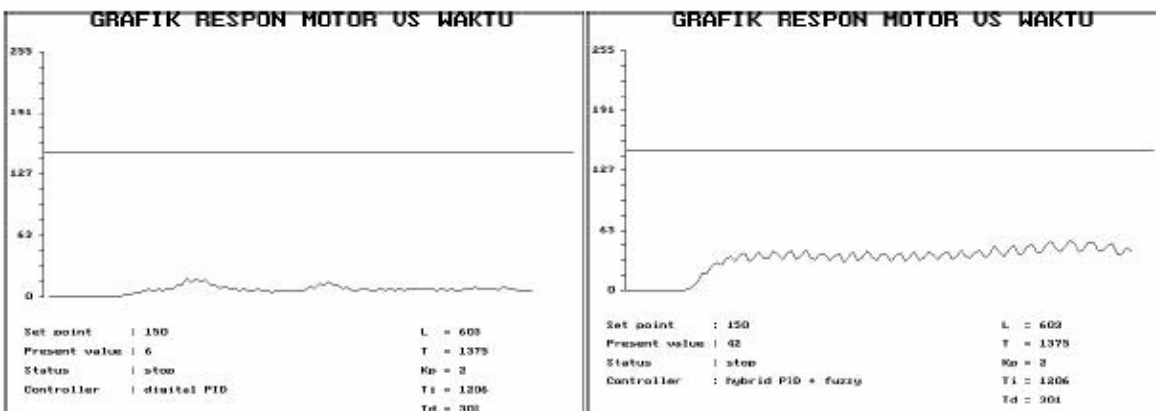
Gambar 12. Respon Motor dengan Kendali PID, Fuzzy & Hibrid



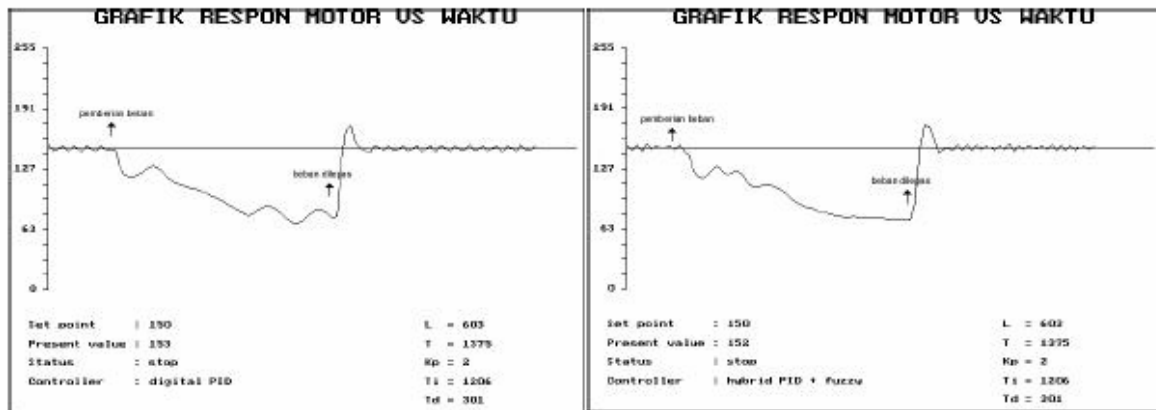
Gambar 13. Perbandingan kendali PID dan Hibrid dengan Variasi SP



Gambar 14. Perbandingan Kendali PID dan Hibrid untuk SP 150 dan Beban 200 gr



Gambar 15. Perbandingan Kendali PID dan Hibrid untuk SP 150 dan Beban 600 gr



Gambar 16. Perbandingan Kendali PID dan Hibrid dengan *Disturbance*, Beban 600 gr

4. Kesimpulan

Sistem kendali hybrid mampu menghasilkan respon dan *recovery time* yang lebih baik dan tahan terhadap *disturbance*, ini terbukti dari hasil pengujian sistem dengan pemberian *disturbance*, terjadinya *undershoot* dan *overshoot* dari pemberian beban dan pelepasan beban dapat di redam. Untuk mendapatkan respon yang baik pada sistem kendali hybrid PID – logika *fuzzy* dapat dilakukan tuning evaluasi rules serta membership function dengan cara memperlebar nilai crisp input, dengan tujuan untuk meredam overshoot.

Daftar Acuan

- [1] I. Takahashi, T. Noguchi, IEEE Trans. Industry Appl. 22 (1986) 820
- [2] M. Depenbrok, IEEE Trans. On Power Electronics 3 (1988) 420
- [3] J.M. Jacob, Industrial Control Electronics Application and Design, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.
- [4] J. Van de Vegte, Feedback Control System, 3rd Ed., Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- [5] M. Depenbrok, ETZ Archiv 7 (1985) 211.
- [6] M. Depenbrok, Direct Self-control of The Flux and Rotary Moment of a Rotary-field Machine, US Patent 4\ 678\ 248, 1987.
- [7] Y.S. Lai, Proceedings of the IEEE PES Winter Meeting, 1999, p.47.
- [8] Y.S. Lai, J.H. Chen, C.H. Liu, Proceedings of IEEE PES Summer Meeting, 2000, p.2493.
- [9] C.T. Lin, C.S. Lee, Neural Fuzzy Systems, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1996.
- [10] Z. Li, Z. He, S. Tan, Proceedings of IEEE Fuzzy Systems, 1994, p.1472.
- [11] R. Ketata, D. De Geest, A. Titli, Fuzzy Sets Systems 71 (1995) 113.